



Изв.вузов «ПНД», т.8, № 4, 2000

УДК 616-057-037+577.8:51+681.3

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННО ОБУСЛОВЛЕННЫХ НАРУШЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ РИТМОВ

*А.Д. Трубецков, Е.С. Мчедлова*

На основе анализа практических биомедицинских данных и результатов компьютерного моделирования изучаются последствия влияния сменного труда на организм человека. Вводятся и сравниваются характеристики, позволяющие оценить степень неблагоприятности для организма того или иного графика сменного труда.

Изучение последствий сменного труда для организма человека связано со многими методическими сложностями. Во-первых, большой проблемой является подбор сопоставимых популяций работающих, имеющих близкими все основные характеристики трудового процесса, кроме графика чередования смен. Во-вторых, известно, что около 10–20% людей не приспособлены для работы в ночное время. Из-за этого в трудовых коллективах возникает естественный самоотбор, при котором на рабочих местах остаются только те, кто способен продолжать трудиться в нетрадиционное время. Чем больше стаж труда, тем меньше остается в рабочей популяции лиц, не способных к адаптации. Поэтому при длительном наблюдении одной группы рабочих число наблюдаемых ежегодно снижается. Заметим, что определенный интерес представляют исследования, связанные с изучением состояния здоровья уволившихся (drop-outs). В-третьих, результаты физиологических и клинических исследований могут не совпадать с точкой зрения самих рабочих, поскольку для них важны не только медицинские последствия сменного труда (которые могут быть значительно отсрочены), но и социальные преимущества того или иного графика. В-четвертых, и это представляется наиболее важным, отсутствует *система сравнения* сменных графиков между собой.

Идеалом изучения воздействия любого неблагоприятного фактора на организм служит выявление зависимости по типу «доза – эффект». В отношении сменного труда до настоящего времени подобные исследования являются изначально неосуществимыми, так как отсутствует количественный критерий, характеризующий неблагоприятность для организма человека того или иного графика.

Ранее была предложена математическая модель циркадианной системы человека, позволяющая численно представить выраженность десинхронизации биологических ритмов при различных изменениях внешних воздействий на систему. Детальное описание, обоснование и исследование модели содержится в работе [1]. Математически модель представлена решеткой взаимно связанных автоколебательных элементов под внешним воздействием. Особенность заключалась в том, что периоды колебаний отдельных элементов решетки

несколько отличались друг от друга и от периода внешнего воздействия, а внешнее воздействие представляло собой гармонический сигнал, в который в отдельные моменты времени вносились сдвиги фазы, то есть фаза внешнего воздействия могла меняться скачком, что в контексте рассматриваемой биомедицинской проблематики соответствует изменению временной организации внешних условий: сменный труд либо трансмеридианный перелет из одного часового пояса в другой. Были приведены примеры, подтверждающие соответствие работы модели реальным физиологическим явлениям. Следует отметить, что при создании моделей взаимодействий в живых системах разумно придерживаться известного для исследователей в области хронобиологии мультиосцилляторного принципа [2], согласно которому циклические процессы в организме осуществляются относительно независимыми пейсмекерами, синхронизированными по фазе и периоду. Данный принцип, с одной стороны, позволяет организму эффективно приспосабливаться к изменениям временной организации окружающей среды; с другой стороны, в нем заложено патологическое начало, так как относительная независимость отдельных элементов биоритмологической структуры может при определенных условиях приводить к десинхронизации внутренних циклических процессов и быть причиной патологии.

Настоящее исследование посвящено оценке и сравнению с помощью предложенной в [1] модели некоторых сменных графиков, использующихся на практике в производстве.

Одной из наиболее актуальных проблем подбора смен является выбор скорости ротации. Под скоростью ротации понимают количество дней, которые рабочий трудится подряд в одни и те же часы до выходного дня (дней) или перехода в другую смену. Различают быструю (1–4 дня) и медленную (5 и более дней) скорости ротации. Отмечено, что рабочие часто предпочитают быструю ротацию графиков, в то же время есть данные, что именно такой график является наиболее неблагоприятным для организма. С точки зрения биоритмологии наиболее физиологичен режим труда, при котором возникает меньшее количество перестроек циркадианной системы, то есть медленная ротация или даже постоянный ночной труд [3]. Однако то, что рабочие стараются придерживаться традиционного режима в дни отдыха, не позволяет считать постоянный ночной труд действительно постоянным, так как каждый выходной происходит новая перестройка циркадианной системы.

В связи с этим были проанализированы изменения предложенного ранее в работе [1] показателя неблагоприятности сменного графика  $S_1$  в зависимости от скорости ротации (от 1 до 14 дней) при моделировании двухсменного и трехсменного труда. Если дневной труд моделируется как естественное течение ритма при отсутствии какого-либо сдвига внешнего ритма, то ночной труд (наиболее выраженное нарушение естественного ритма сон – бодрствование) как максимальное изменение времени адаптации  $T_{ад}$  – на  $1/2$  периода. Под ночным трудом в медицине труда принято понимать рабочий период продолжительностью не менее 7 часов, занимающий время от 0.00 до 5.00 часов. Этот период для большинства людей противоположен времени наибольшей физической и психоэмоциональной активности. При моделируемых режимах сменного труда период ночных смен предшествует аналогичному по длительности периоду дневных. Скорость ротации обозначается как  $n$  и колеблется от 1 до 14 дней.

При трехсменном труде всегда имеется дневная смена, когда ритм жизнедеятельности работающего приближен к физиологическому (отсутствие сдвига внешнего ритма). Две оставшиеся смены (утренняя и вечерняя) при любом варианте их организации во времени носят промежуточный характер, приближающийся к воздействию ночного труда. Они захватывают только часть периода от 0.00 до 5.00 часов, поэтому возможно их моделирование при введении сдвига периода внешнего воздействия на  $1/3$  и  $2/3$ , соответственно. Результаты представлены на рис. 1. Видно, что показатель десинхронизации циркадианных ритмов  $S_n$ , в целом, выше при трехсменной форме труда. При однодневной ротации показатели  $S_n$  имеют близкие значения в обоих случаях, причем единственный раз

$S_i$ , несколько выше применительно к двухсменной форме труда. При двухсменном труде более физиологичной представляется медленная ротация (свыше четырех суток), при трехсменном – быстрая. В последнем случае зависимость от числа последовательных дней работы в одну смену имеет несколько меньшее значение. Обобщая полученные данные, можно сказать, что при необходимости использования трехсменного труда (обязательность восьмичасового рабочего дня) следует рекомендовать скорость ротации 1–3 дня; при возможности использования двенадцатичасового рабочего дня следует составлять график со скоростью ротации в четверо суток и более, но могут возникать проблемы с социальными аспектами данного режима труда.

Однако наиболее важным практическим приложением модели является анализ конкретных графиков чередования смен. В данном случае мы попытались сравнить несколько показателей, характеризующих неблагоприятное воздействие сменного графика на организм. Кроме показателя  $S_i$ , определялось число ночных смен в пересчете на один месяц  $N_n$ , что соответствует методике, предложенной в [4]. Также определялось время, за которое система возвращается в исходное состояние после внесения всего цикла возмущений ( $T_{ad}$ ). Этот показатель близок к используемому на практике так называемому основному периоду сменного графика. Хрономедицина под периодом сменной системы понимает продолжительность ритма, которая необходима для циркадианной системы, чтобы вернуться в синхронизированное состояние [5].

Рассматривалось восемь режимов труда, использующихся на различных предприятиях. В таблице представлены соответствующие сменные графики с

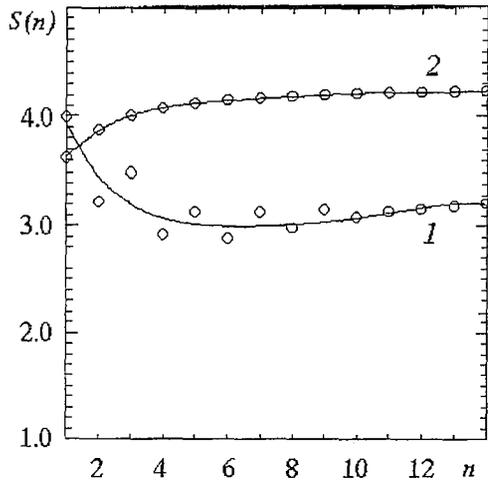


Рис. 1. Зависимость выраженности степени десинхронизации от скорости ротации  $n$  сменного графика: 1 – двухсменный график: сдвиг фазы внешнего воздействия на  $1/2$  периода в течение  $nT$  периодов и затем  $nT$  периодов нормальной активности; 2 – трехсменный график: сдвиг фазы внешнего воздействия на  $2/3$  периода в течение  $nT$  периодов, затем сдвиг фазы на  $1/3$  периода в течение  $nT$  периодов и далее  $nT$  периодов нормальной активности

Таблица

Сменный график		$N_n$	$T_{ad}$	$S_i$
Обозначение	Вид			
ЭВ1	Экспедиционно–вахтовый труд в 1 смену	0	12.95	0.3
В	Вахтовый труд (местная вахта) в 2 смены	7.5	17.5	1.49
ЭВ2	Экспедиционно–вахтовый труд в 2 смены	7.5	18.50	1.73
С1	Суточное дежурство и 3 дня выходных (с–о–о–о)	7.5	24.0	2.0
С2	Двухсменный труд с ротацией в 1 день (д–н–о–о)	6.0	24.0	1.61
С3	Двухсменный труд с ротацией в 1 день и двумя выходными (д–н–о–о+Сб–Вс)	5.5	23.5	1.35
С4	Двухсменный труд с ротацией в 2 дня (д–д–о–н–н–о–о–о)	7.5	13.95	1.49
С5	Трехсменный труд с ротацией в 5 дней и двумя выходными (5у–о–о–5в–о–о–5н–о–о)	7.1	20.7	1.53

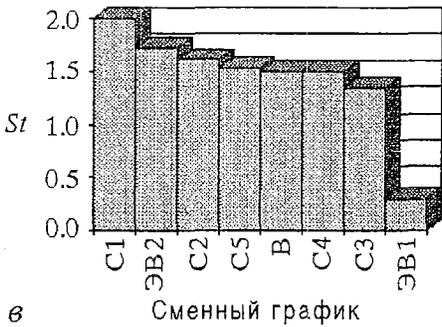
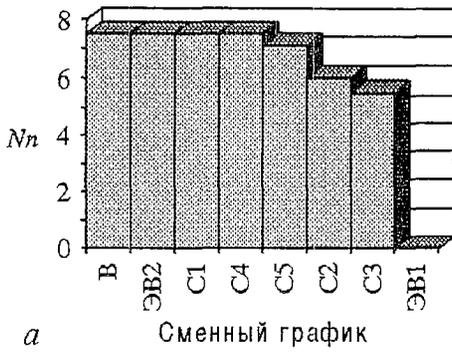


Рис. 2. Гистограммы, соответствующие исследованным сменным графикам, построенные тремя способами: смены упорядочены по убыванию каждого из характеризующих их параметров

указанием способа чередования смен. Экспедиционная вахта продолжалась 14 дней с аналогичным периодом отдыха, местная вахта – 8 дней. При всех видах двухсменного труда длительность рабочего дня составляла 12 часов. При трехсменном труде использовались смены различной продолжительности

(утренняя – 9, вечерняя – 8, ночная – 7 часов).

Из представленных в таблице результатов расчета видно, что показатели характеризуют сменные графики различным образом. Для определения этих различий мы расположили сменные графики тремя способами, в порядке убывания каждого из параметров (рис. 2), после чего были сопоставлены полученные результаты с общепринятыми литературными данными и данными клинических исследований.

При использовании показателя  $N_n$ , его величина для односменного труда экспедиционно-вахтовым способом равна 0. Остальные графики характеризуются близкими значениями  $N_n$ : от 5.5 до 7.5, причем в четырех случаях значения показателя одинаковы. Нет зависимости от длительности смены (8 и 12 часов, суточное дежурство). Величина показателя  $T_{ад}$  достаточно ровно нарастает от 12.95 при экспедиционно-вахтовом труде в одну смену до значения 24, характеризующего работу по двум весьма различным графикам. Обращает на себя внимание практическое равенство показателей  $T_{ад}$  в группах С2 и С3, которые различает наличие двух дополнительных выходных на неделе во втором случае.

То, что это различие минимально и величина показателей в обоих случаях больше, чем в группе ЭВ2, как и при трехсменном труде с недельной ротацией ( $T_{ад}=20.7$ ), делает возможность использования показателя  $T_{ад}$  на практике весьма сомнительной.

Самое низкое значение  $S_t$ , как и  $N_n$ , при графике труда ЭВ1, что следует признать закономерным. Кроме того, низкое значение  $S_t$  отличается при 12-часовом графике работы и при трансмеридианном перелете ( $S_t=0.3$ ). Значительное количество выходных дней (в том числе и традиционных – суббота, воскресенье) ставит на второе место график С4. Далее следует местная вахта (без пересечения часовых и климатических поясов) и трехсменный труд с недельной ротацией. Одинаковое значение показателя  $S_t$  при двухсменном труде со скоростью ротации в 1 и 2 дня не противоречит опубликованным данным. Замыкают список вахтовый труд по экспедиционно-вахтовому графику и суточные дежурства (с тремя последующими выходными).

Данный вариант расположения сменных графиков позволяет количественно

осуществить оценку степени их неблагоприятного воздействия на организм работающих и соответствует современным научным представлениям о рациональном подборе режимов труда. Таким образом, показатель  $S_t$ , полученный с помощью математического моделирования, наиболее обоснован с точки зрения хронобиологии и в то же время не противоречит общей практике подбора сменных графиков по степени их влияния на организм человека. Именно его целесообразно предложить для использования на практике при нормировании сменного и/или ночного труда.

*Работа выполнена при поддержке гранта Минобразования РФ, а также гранта РФФИ № 99-02-16016.*

### **Библиографический список**

1. Мchedlova E.S., Trubetskov A.D. Процессы самоорганизации как результат нелинейных взаимодействий в системах биологических осцилляторов // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1995. Т. 3, № 1. С. 73.

2. Деряпа Н.Р., Мошкин М.Н., Посный В.С. Проблемы медицинской биоритмологии. М.: Медицина, 1985. 208 с.

3. Навакатикян А.О., Сытник Н.И., Кальниш В.В. Оптимизация сменного труда: графики сменности (обзор литературы) // Медицина труда и промышленная экология. 1995. № 1. С.22.

4. Cervinka R. Night shift dose and stress at work // Ergonomics. 1993. Vol. 36, № 1-3. P. 155.

5. Folkard S., Minors S., Waterhous J.M. Chronobiology and shift work: Current issues and trends // Chronobiologia. 1985. № 12. P. 31.

*Саратовский государственный  
медицинский университет  
Саратовский государственный  
университет*

*Поступила в редакцию 30.11.1999  
после доработки 11.07.2000*

## **NUMERICAL ESTIMATION OF BIOLOGICAL RHYTHMS DESTRUCTION COURSED BY LABOUR REGIMES**

*A.D. Trubetskov, E.S. Mchedlova*

On the base of biomedical data analysis and numerical simulation results the consequence of the shift work effect on human organism are investigated. It is introduced and compared the characteristics allowed to estimate the degree of harm to the health induced by a shift work schedule.



*Трубецков Алексей Дмитриевич – родился в 1964 году. Закончил Саратовский медицинский институт (1988). Защитил диссертацию на соискание звания кандидата медицинских наук (1992) и доктора медицинских наук (1999). Работает заведующим кафедрой профпатологии и гематологии СГМУ. Научные интересы – профессиональная и профессионально обусловленная патология. Автор более 50 печатных работ.*



*Мчедлова Елена Сумбатовна* – окончила Саратовский государственный университет (1993). Кандидат физико–математических наук (1996). Работает научным сотрудником ГосУНЦ «Колледж» Саратовского госуниверситета. Область научных интересов – нелинейная динамика распределенных систем, компьютерное моделирование в физике и биология, методы анализа динамических систем. Автор ряда работ по построению и исследованию моделей структурированных потоков со сверхизлучением, изучению взаимодействий в больших ансамблях связанных автоколебательных систем. E-mail: esm@cas.ssu.runnet.ru



*В редакции имеется в наличии сборник*

**Фундаментальные проблемы физики: Материалы Второй международной конференции.** Саратов, Россия, 9–14 октября 2000 года. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2000. 208 с.

Материалы сборника отражают тематику исследований, проводимых в рамках Программы «Фундаментальные исследования высшей школы в области естественных и гуманитарных наук. Университеты России». Более чем в 200–х тезисах и докладах излагаются результаты работ по следующим актуальным направлениям физики:

- ядро и элементарные частицы, космические излучения и космос
- атомы и молекулы, оптические явления
- конденсированное состояние вещества, полупроводники, микроэлектроника, магнитные явления
- кинетические явления, плазма, открытые системы
- биофизика, медицинская физика, экология
- физика Земли и планет, атмосферы и околоземного космического пространства, астрономия и астрофизика
- акустические и гидродинамические волновые процессы, радиоволны
- теоретическая и математическая физика.

*Заинтересованный читатель может приобрести  
сборник материалов наложенным платежом.  
Стоимость наложенного платежа 50 руб.*

Заказы принимаются

*по почте: 410026 Саратов, Астраханская ул., 83  
по электронной почте E-mail: and@cas.ssu.runnet.ru  
по телефону: (845–2)52–38–64*

